

اثر افزایش سرباره آهن و کمپوست لجن فاضلاب شهری به خاک بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه همیشه بهار

امیرحسین بقائی^{۱*}

۱. گروه خاک شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۰

اهداف: اثر متقابل فلزات سنگین با برخی عناصر از قبیل آهن بر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک تأثیر دارد، از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک غنی شده با سرباره آهن بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه همیشه بهار بررسی شد.

مواد و روش ها: تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد مقادیر ۱۵، ۳۰ و ۴۵ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک غنی شده با ۰ و ۵ درصد وزنی آهن خالص سرباره فولاد مبارکه اصفهان در خاک آلوده شده با مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بوده است. بعد از گذشت ۶۰ روز از شروع آزمایش، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و غلظت کادمیوم ریشه و شاخساره گیاه همیشه بهار اندازه گیری شد و مقایسه میانگین ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت.

یافته ها: افزایش کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک از ۰ به ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار در خاک آلوده به ۱۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به ترتیب باعث کاهش ۱۵ و ۳۵ درصدی در مقدار کادمیوم قابل دسترسی خاک شد، این در حالی است که مقدار آهن قابل دسترسی خاک به ترتیب ۵/۶ و ۸/۴ برابر افزایش یافت. مشابه این نتیجه، غلظت کادمیوم ریشه و شاخساره نیز به ترتیب ۲۴ و ۱۸ درصد کاهش یافت.

نتیجه گیری: نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک غنی شده با ۵ درصد آهن خالص احتمالاً توانسته است با تأثیر بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک باعث افزایش قابلیت دسترسی آهن در خاک و گیاه و به دنبال آن کاهش قابلیت جذب کادمیوم شود.

کلیدواژه ها:

سرباره آهن، قابلیت دسترسی، کادمیوم، کمپوست، لجن فاضلاب شهری

مقدمه

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مسائل مهم زیست محیطی جهان است [۱]. حضور فلزات سنگین در خاک سلامت انسان، دام، گیاه و در مجموع محیط زیست را تهدید می کند [۲]. بنابراین تلاش های زیادی به منظور کاهش آلاینده های خطرناک و در نتیجه ممانعت از آثار مخرب آنها

بر انسان ها، جانوران و گیاهان لازم است [۳]. مقادیر فراوان این عناصر در خاک، فرصت کاهش آثار و کنترل آنها را به خاک نمی دهد و به آلودگی محصولات کشاورزی و آب های زیرزمینی می انجامد [۴]. شایان ذکر است که شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و نوع فلز آلوده کننده نیز نقش مهمی در الویت ارزیابی و رفع آلودگی خاک به فلزات سنگین دارد.

* نویسنده مسئول: امیرحسین بقائی

نشانی: گروه خاک شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

دورنگار:

تلفن: ۰۹۱۳۱۶۹۶۷۲۱

رایانه: a-baghaie@iau-arak.ac.ir

شناسه ORCID: 0000-0002-8936-1202

افزایش سطوح کادمیوم به مقدار ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، جذب آهن و روی در گیاه به صورت معناداری کاهش می یابد [۱۲]. همچنین تیره فراهانی و همکاران در پژوهشی گزارش کردند که با افزایش غلظت کادمیوم، جذب کل آهن، منگنز و روی به وسیله گیاه و تجمع آن ها در شاخساره گیاه به طور معناداری در ذرت کاهش یافت [۱۳]. شایان ذکر است که این آثار برهمکنش به شرایط فیزیوشیمیایی خاک و نقش آن ها در تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک بستگی زیادی دارد، که در این پژوهش ها به آن ها اشاره ای نشده است.

امروزه به دلیل آلوده بودن خاک های مناطق صنعتی به فلزات سنگین و افزایش روزافزون این فلزات، پاک سازی آن ها امری ضروری به نظر می رسد. بنابراین بایستی به دنبال راهکاری بود تا بتوان قابلیت دسترسی آن ها را کاهش داد که از جمله می توان به برهمکنش آهن و فلزات سنگین اشاره کرد. با توجه به شباهت ژئوشیمیایی کادمیوم با آهن [۱۴]، استفاده از ترکیبات آهن نظیر اکسید آهن می تواند نقش مهمی در تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین داشته باشد. غنی سازی کودهای آلی با این فلز [۱۵] احتمالاً راهکار مناسبی برای کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم است. تاکنون مطالعاتی درباره استفاده از ضایعات جانبی صنایع آهن و فولاد برای افزایش قابلیت دسترسی آهن توسط گیاه صورت پذیرفته است [۱۶]، لیکن در این پژوهش ها به اثر برهمکنش آهن با فلزات سنگین در خاک های آلوده به فلزات سنگین اشاره ای نشده است.

با توجه به اینکه گیاه همیشه بهار یکی از گونه های رایج گیاهان دارویی در اراضی کشاورزی شهرستان اراک بوده و آلودگی این گیاه به کادمیوم مضرات زیادی را در پی دارد، ارائه راهکار مناسبی برای کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم امری ضروری است. این پژوهش با هدف بررسی اثر سرباره آهن بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه همیشه بهار در خاک تیمار شده با کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک در شرایط گلخانه صورت پذیرفت.

مواد و روش ها

این پژوهش به صورت آزمایش گلدانی در گلخانه پژوهشی شهرک مهاجران با هدف بررسی اثر غنی سازی کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک (با ۵ درصد آهن خالص از ترکیب سرباره آهن به عنوان محصول جانبی شرکت فولاد مبارکه اصفهان) بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک آلوده به این عنصر انجام شد. طرح آزمایشی مورد نظر به صورت آزمایش فاکتوریل

بین فلزات سنگین، کادمیوم به دلیل تحرک پذیری بالا، نقش مهمی را در آلوده سازی خاک داشته و بایستی با دقت بیشتری بررسی شود. کادمیوم به راحتی از طریق ریشه گیاه جذب می شود و آثار ناشی از سمیت آن تا ۲۰ برابر بیشتر از دیگر فلزات سنگین است [۵].

روش های مختلفی برای حذف یا تثبیت فلزات سنگین، اصلاح خاک های آلوده و جلوگیری از ورود فلزات سنگین به چرخه غذایی وجود دارد. مهم ترین این روش ها عبارت اند از: تثبیت شیمیایی با افزایش برخی مواد غیر سمی به خاک، برداشت خاک سطحی آلوده و جایگزین کردن با خاک غیر آلوده، شستشوی درجا با مواد شیمیایی، رقیق کردن خاک سطحی طی مخلوط کردن آن با خاک عمقی و گیاه پالایی [۶]. تکنیک های مذکور به جز تثبیت و گیاه پالایی در بسیاری مواقع گران و مقرون به صرفه نیستند و می توانند باعث گسترده گی آلودگی در خاک شوند. روش تثبیت، امروزه گسترش زیادی پیدا کرده است. در این باره افزودنی های زیادی نظیر آهک، زئولیت کانی های رسی، کمپوست، خاکسترهای آتش فشانی، کانی های فسفات، اکسید و هیدروکسیدهای آهن و بقایای گیاهی استفاده می شود. همچنین موارد ذکر شده با تغییر ویژگی های فیزیوشیمیایی خاک می توانند قابلیت دسترسی عناصر را تغییر دهند [۷].

نتایج بسیاری از پژوهش ها حاکی از آن است که استفاده از کودهای آلی با افزایش ویژگی های جذبی خاک باعث تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک می شوند [۷]، هرچند که در این میان نقش برهمکنش عناصر موجود در ترکیبات آلی بر تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک و گیاه نباید نادیده گرفته شود. نتایج پژوهش شریفی و همکاران حاکی از نقش بخش معدنی و آلی کود گاوی و لجن فاضلاب بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک بوده است [۸]. همچنین مولایی و همکاران در پژوهشی به تأثیر برخی اصلاح کننده های آلی بر ویژگی های رویشی گیاه ذرت و غلظت کادمیوم در گیاه اشاره داشتند. این محققان چنین نتیجه گرفتند که کاربرد لجن فاضلاب و پوست پسته، غلظت کادمیوم و دیگر فلزات سنگین در ریشه و شاخساره گیاه را به طور معناداری کاهش می دهد [۹]. همچنین در تمامی موارد ذکر شده، فقط به نقش کاربرد ترکیبات آلی در کاهش قابلیت دسترسی عناصر توجه شده، ولی به نقش برهمکنش عناصر در کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک و گیاه اشاره ای نشده است. [۱۰، ۱۱].

ملک زاده و همکاران در پژوهشی گزارش کردند که با

کادمیوم در کیلوگرم خاک [۱۷، ۱۸] است. برای بررسی نقش غنی سازی کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک با سرباره آهن بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و گیاه همیشه بهار، خاکی با دوازده درصد آهک و کربن آلی نسبتاً پایین از روستای پاکل واقع در ۳۰ کیلومتری اراک برداشت شد. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و کمپوست لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک و کمپوست لجن فاضلاب مورد استفاده در این پژوهش

تیما	pH	قابلیت هدایت الکتریکی (dS m^{-1})	کربن آلی (%)	بافت	آهک (%)	کادمیوم کل (mg kg^{-1})	آهن کل (mg kg^{-1})	گنجایش تبادل کاتیونی خاک ($\text{Cmol}(+) \text{ kg soil}^{-1}$)
خاک	۷/۱	۰/۸	۰/۱۲	Loamy	۱۲	۱	۲	۱۲/۴
کمپوست	۷/۸	۱۲/۳	۲۵/۸	-----	۲	۰/۴	۵۶۰	۲۸/۷

چهار روز یکبار (بسته به نیاز آبی گیاه) انجام شد. برداشت بوته های گیاه همیشه بهار ۱۲۰ روز پس از کاشت انجام شد. نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در خشک کن قرار داده شد، سپس نمونه ها توسط آسیاب برقی به پودر تبدیل شده و در ظروف پلاستیکی نگهداری شد. نمونه ها در دمای ۴۸۰ درجه سلسیوس خاکستر و غلظت فلزات سنگین بعد از عصاره گیری نمونه های با روش هضم سه اسید با استفاده از دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۳۰۳۰ اندازه گیری شد [۲۰]. همچنین میزان کادمیوم کل موجود در نمونه خاک [۲۱] و عناصر سنگین موجود در کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک [۲۲] با دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

همزمان با برداشت گیاه، از خاک گلدان های تحت کشت گیاه همیشه بهار برای تعیین ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک نمونه برداری شد. نمونه های خاک، پس از هواخشک شدن و کوبیدن، از الک دو میلی متری گذرانده و برای تجزیه مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه گیری مقدار کربن آلی در نمونه خاک یا کمپوست لجن فاضلاب از روش اکسیداسیون تر [۷] و گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش کلرید باریم اندازه گیری شد [۲۳]. بافت خاک به روش هیدرومتری [۸] اندازه گیری شد. برای اندازه گیری pH و قابلیت هدایت الکتریکی کمپوست لجن فاضلاب از نسبت ۱:۵ کود به آب و درباره نمونه خاک از عصاره اشباع خاک استفاده شده است [۲۱]. مقدار آهک خاک به روش خنثی سازی با اسید و تیتراسیون اسید اضافی با سود [۱۳] تعیین شد. مقدار نیتروژن کمپوست لجن فاضلاب به روش کجلدال [۲۱] اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده ها به کمک

در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک در سه سطح ۰، ۱۵ (V_{15}) و ۳۰ (V_{30}) تن در هکتار غنی شده با سرباره آهن به میزان ۰ (S_0) و ۵ (S_5) درصد آهن خالص از ترکیب سرباره فولاد (۱۵) و آلودگی خاک به فلز سنگین کادمیوم از منبع کلرید کادمیوم در سطوح ۰ (Cd_0)، ۵ (Cd_5)، ۱۰ (Cd_{10}) و ۱۵ (Cd_{15}) میلی گرم

بیشتر از ۶۰/۲ درصد ترکیب سرباره فولاد مبارکه مورد استفاده در این تحقیق را اکسید آهن از نوع اکسید آهن سه ظرفیتی و ۲۷/۴ درصد این ترکیب را اکسید آهن دو ظرفیتی تشکیل داده است و عناصر کلسیم و سیلیسیم در درجه بعدی قرار دارد، هرچند که کیفیت لجن به نوع کوره و فناوری استفاده شده بستگی دارد و ترکیب شیمیایی آن در کارخانه های مختلف متفاوت است [۱۶]. شایان ذکر است که شرایط فیزیکوشیمیایی خاک از قبیل pH و گنجایش تبادل کاتیونی خاک می تواند حلالیت عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار دهد.

کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک با مقادیر فوق الذکر با سرباره آهن غنی شده و به مدت سه ماه در دمای اتاق به حالت خود رها شد [۱۵]، از سویی دیگر، خاک مورد استفاده با روش اسپری در مقادیر فوق الذکر به فلز کادمیوم آلوده شد. برای رسیدن به تعادل نسبی، نمونه خاک های آلوده شده به کادمیوم نیز مدت یک ماه به حالت خود رها شد [۱۹]. سپس کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک غنی شده در مقادیر ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار به خاک آلوده به کادمیوم اضافه شده و خاک تیمار شده به مدت یک ماه داخل گلدان پلاستیکی ۵ کیلوگرمی به حال خود رها شد و در این مدت برای به تعادل رسیدن، مرتباً خاک تیمار شده تا حد رسیدن به ظرفیت زراعی مزرعه تر و خشک شد [۱۵]. بذور گل همیشه بهار (*Calendula officinalis*) در جعبه های کشت نشاء، کشت شد. زمانی که گیاهان به مرحله چهار برگی رسیدند گیاهانی هم اندازه (از لحاظ طول و وزن) انتخاب و به داخل گلدان های اصلی انتقال داده شد. در هر گلدان پنج بوته کشت شد که در نهایت به سه بوته تقلیل داده شد. آبیاری گلدان ها با آب مقطر هر سه تا

فاضلاب شهری اراک به ترتیب باعث افزایش ۰/۴ و ۰/۸ درصد در افزایش کربن آلی خاک شد.

بیشترین میزان کادمیوم قابل دسترس خاک در تیمار فاقد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک و آلوده به ۱۵ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک ($V_0S_0Cd_{15}$) بود (جدول ۲)، این در حالی است که کمترین مقدار آهن قابل دسترس خاک در این تیمار مشاهده شد (جدول ۲). صرفه نظر از تیمارهایی (Cd_0) که مقدار کادمیوم آن‌ها قابل اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است، کمترین مقدار کادمیوم قابل دسترس در خاک حاوی ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک غنی شده با سرباره و آلوده به ۵ میلی گرم کادمیوم مشاهده شد، این در حالی است که مقدار آهن قابل دسترس خاک در این تیمار نیز مقدار بالایی را در مقایسه با دیگر تیمارها به خود اختصاص داده است. نکته جالب توجه در این پژوهش حاکی از آن است که در تیمار $V_{30}S_5Cd_0$ که مقدار کادمیوم قابل اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است بیشترین مقدار آهن قابل دسترس خاک مشاهده شد.

نرم افزار SAS انجام گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شد.

یافته‌ها

اثر تیمارهای آزمایش بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

کاربرد ۱۵ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک به خاک باعث افزایش معنادار ۰/۴ واحدی در pH خاک نسبت به خاک فاقد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شد در حالی که کاربرد ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک اختلاف معناداری را در pH خاک نسبت به ۱۵ تن در هکتار نشان نداد. اثر ساده کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک به ترتیب باعث افزایش گنجایش تبادل کاتیونی خاک از ۱۲/۴ در خاک فاقد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب به ۱۳/۸ و ۱۵/۷ سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک شد. همچنین کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن

جدول ۲. اثر کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک، سرباره آهن و کادمیوم بر مقدار کادمیوم و آهن قابل دسترس خاک ($mg\ kg^{-1}$)

تیمار	V_0S_0		V_0S_5		$V_{15}S_0$		$V_{15}S_5$		$V_{30}S_0$		$V_{30}S_5$	
	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم
Cd_0	۷/۸ ^{q*}	ND ^{**}	۸۵/۱ ^f	ND	۲۲/۸ ⁿ	ND	۱۰۰/۱ ^c	ND	۳۶/۴۱	ND	۱۱۷/۳ ^a	ND
Cd_5	۳/۲ ^r	۴/۳ ^{g*}	۸۰/۰ ^g	۳/۹ ^m	۱۸/۹ ^o	۳/۳ ⁿ	۹۲/۳ ^d	۲/۶ ^o	۲۹/۴ ^m	۲/۱ ^p	۱۰۴/۱ ^b	۱/۳ ^q
Cd_{10}	۲/۸ ^r	۱۰/۶ ^f	۶۶/۱ ^j	۹/۳ ^g	۱۵/۴ ^p	۹/۱ ^h	۷۷/۲ ^h	۸/۱ ⁱ	۲۳/۶ ⁿ	۶/۹ ^j	۸۹/۲ ^e	۵/۲ ^k
Cd_{15}	۱ ^r	۱۵/۳ ^a	۵۷/۸ ^k	۱۴/۹ ^b	۶/۳ ^q	۱۳/۵ ^c	۶۹/۷ ⁱ	۱۲/۱ ^d	۱۱/۵ ^e	۱۷/۱ ^o	۷۷/۰ ^h	۸/۸ ^h

افزایش معنادار ۲۳/۶ و ۵۷ برابری در میزان آهن قابل دسترس خاک شد. کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب در خاک آلوده به ۱۵ میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش ۱۲ و ۲۵ درصدی در مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک شده است.

غلظت کادمیوم ریشه و شاخساره همیشه بهار

بیشترین میزان کادمیوم ریشه گیاه در خاک فاقد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب و آلوده به ۱۵ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک ($V_0S_0Cd_{15}$) مشاهده شد (جدول ۳)، این در حالی است که بیشترین مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک نیز در این تیمار مشاهده شد (جدول ۲). شایان ذکر است که مقدار آهن قابل دسترس در خاک، در این تیمار قابل اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی نبود.

غنی سازی کمپوست لجن فاضلاب شهری با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب سرباره آهن فولادسازی توانسته است تأثیر معناداری را در تثبیت کادمیوم و در نهایت کاهش قابلیت دسترسی آن در خاک داشته باشد. غنی سازی ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک با سرباره آهن در خاک آلوده به ۱۵ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به ترتیب باعث کاهش ۱/۴ و ۲/۷ واحدی در مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک (جدول ۲) و افزایش ۱۱ و ۴/۵ برابری در مقدار آهن قابل دسترس شده است.

کاربرد ۵ درصد آهن خالص از ترکیب سرباره آهن فولادسازی در خاک فاقد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب و آلوده به ۱۰ و ۱۵ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک نیز به ترتیب باعث کاهش ۱/۳ و ۰/۴ واحدی در میزان کادمیوم قابل دسترس خاک شد، این در حالی است که به ترتیب

جدول ۳. اثر کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک، سرباره آهن و کادمیوم بر غلظت کادمیوم و آهن ریشه همیشه بهار (mg kg^{-1})

تیما	$V_{30}S_5$		$V_{30}S_0$		$V_{15}S_5$		$V_{15}S_0$		V_0S_5		V_0S_0	
	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم
Cd_0	۱۰۰۵/۰ ^a	ND	۳۰۹/۳ ^k	ND	۹۲۲/۳ ^b	ND	۲۱۷/۲ ^m	ND	۵۱۵/۳ ^h	ND*	۵۳/۹ ^{q*}	ND**
Cd_5	۹۳۰/۲ ^b	۴۷/۹ ⁱ	۲۷۰/۳ ^l	۶۳/۴ ^k	۷۵۰/۰ ^e	۶۵/۱ ^k	۱۸۳/۲ ⁿ	۸۳/۴ ⁱ	۴۵۵/۰ ⁱ	۱۱۱/۳ ^h	۳۳/۶ ^r	۱۲۳/۲ ^{g*}
Cd_{10}	۸۴۰/۳ ^c	۶۴/۵ ^k	۲۱۹/۳ ^m	۸۶/۳ ⁱ	۶۷۰/۰ ^f	۱۱۱/۳ ^h	۱۷۰/۳ ^o	۱۲۱/۳ ^g	۴۰۰/۰ ^j	۱۳۲/۸ ^f	ND**	۱۴۲/۸ ^e
Cd_{15}	۷۹۰/۴ ^d	۷۹/۳ ^j	۱۹۰/۳ ⁿ	۱۱۲/۵ ^h	۶۱۰/۰ ^g	۱۵۴/۶ ^d	۱۲۵/۴ ^p	۱۶۳/۳ ^c	۳۱۸/۰ ^k	۱۷۴/۱ ^b	ND	۱۸۲/۳ ^a

باعث کاهش ۶ و ۳۰ درصدی در غلظت کادمیوم ریشه گیاه شد، این در حالی است که کاربرد تیمارهای مذکور به ترتیب باعث افزایش ۴ و ۴/۵ برابری در مقدار آهن ریشه گیاه شد. بیشترین میزان کادمیوم شاخساره گیاه در خاک فاقد کاربرد کمپوست لجن فاضلاب و آلوده به ۱۵ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک ($V_0S_0Cd_{15}$) است (جدول ۴). بیشترین مقدار کادمیوم ریشه گیاه نیز در این تیمار مشاهده شد. همچنین مقدار آهن شاخساره گیاه در این تیمار، قابل اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی نبود (جدول ۴). صرفه نظر از تیمارهایی (Cd_0) که مقدار کادمیوم آن‌ها قابل اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است، کمترین مقدار کادمیوم شاخساره گیاه در خاک حاوی ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب غنی شده با سرباره و آلوده به ۵ میلی گرم کادمیوم مشاهده شد. شایان ذکر است که نتایج مشابهی در مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک و ریشه گیاه در همین تیمار مشاهده شد. این در حالی است که مقدار آهن قابل دسترس خاک، ریشه و شاخساره گیاه افزایش معناداری را نشان داده است (جدول ۴). همچنین در تیمار $V_{30}S_5Cd_0$ که مقدار کادمیوم شاخساره گیاه به دلیل پایین بودن میزان آن، قابل اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است بیشترین مقدار آهن شاخساره گیاه مشاهده شد. در تمامی تیمارهای یادشده غلظت کادمیوم شاخساره کمتر از غلظت کادمیوم ریشه گیاه است.

صرفه نظر از تیمارهایی که مقدار کادمیوم آن‌ها قابل اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است (Cd_0)، کمترین مقدار کادمیوم ریشه گیاه در خاک حاوی ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب غنی شده با سرباره و آلوده به ۵ میلی گرم کادمیوم مشاهده شد. همچنین نتایج مشابهی در مقدار کادمیوم قابل دسترس خاک در همین تیمار مشاهده شد. این در حالی است که مقدار آهن قابل دسترس خاک (جدول ۲) و ریشه گیاه (جدول ۳) روند افزایشی را نشان داده است. همچنین در تیمار $V_{30}S_5Cd_0$ که مقدار کادمیوم ریشه گیاه به دلیل پایین بودن میزان آن، قابل اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است، بیشترین مقدار آهن ریشه گیاه (جدول ۳) مشاهده شد.

کاربرد کمپوست لجن فاضلاب در خاک آلوده به کادمیوم نقش مؤثری در کاهش میزان کادمیوم ریشه گیاه داشته است، به نحوی که کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب (بدون غنی سازی با سرباره آهن) در خاک آلوده به ۱۵ میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش ۱۱ و ۳۹ درصدی در میزان کادمیوم ریشه گیاه شد.

غنی سازی کمپوست لجن فاضلاب با سرباره آهن نیز نقش مؤثری در کاهش مقدار کادمیوم ریشه گیاه داشت، به نحوی که کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب غنی شده با ۵ درصد آهن خالص از منبع سرباره آهن در خاک آلوده به ۱۵ میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به ترتیب

جدول ۴. اثر کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک، سرباره آهن و کادمیوم بر غلظت کادمیوم و آهن شاخساره همیشه بهار (mg kg^{-1})

تیما	$V_{30}S_5$		$V_{30}S_0$		$V_{15}S_5$		$V_{15}S_0$		V_0S_5		V_0S_0	
	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم	آهن	کادمیوم
Cd_0	۱۶۴/۳ ^a	ND	۶۹/۲ ^f	ND	۱۲۳/۲ ^d	ND	۵۶/۶ ^g	ND	۳۲/۳ ^j	ND	۹/۳ ^{m*}	ND**
Cd_5	۱۴۶/۲ ^b	۶/۲ ⁱ	۵۴/۴ ^g	۷/۳ ^k	۹۴/۶ ^e	۷/۲۳ ^k	۴۲/۴ ^h	۸/۶ ⁱ	۱۶/۶ ^l	۱۰/۹ ⁱ	۵/۲ ⁿ	۱۲/۸ ^{g*}
Cd_{10}	۱۳۴/۵ ^c	۸/۳ ⁱ	۴۳/۶ ^h	۱۱/۴ ^h	۳۸/۴ ⁱ	۱۰/۱ ⁱ	۳۴/۱ ^j	۱۳/۶ ^f	۱۰/۳ ^m	۱۱/۶ ^h	ND**	۱۷/۳ ^c
Cd_{15}	۱۲۵/۶ ^d	۶/۴ ⁱ	۳۳/۳ ^j	۱۲/۴ ^g	۳۴/۶ ^j	۱۴/۸ ^e	۲۸/۳ ^k	۱۶/۱ ^d	۳/۸ ⁿ	۲۰/۱ ^b	ND	۲۵/۱ ^a

موجب کاهش پیوند فلز سنگین با عوامل کلاته‌کننده شده (عوامل کلاته‌کننده که در انتقال آهن در گیاه نقش دارند در شرایط کمبود آهن با فلز سنگین پیوند برقرار می‌کنند) و فلز سنگین کمتری جذب گیاه می‌شود [۲۶]. در این راستا تفویضی و متشرع‌زاده در پژوهشی گزارش کردند که کاربرد آهن از جذب فلز سنگین توسط گیاه جلوگیری و موجب کاهش آثار آن در گیاه می‌شود [۲۷].

با وجود تمامی مطالب ذکر شده، صرفه‌نظر از نقش اثر رقابتی آهن و کادمیوم [۱۰]، کاربرد کمپوست لجن فاضلاب نیز در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک آلوده به این عنصر می‌تواند تأثیر بسزایی داشته باشد. نکته قابل توجه این موضوع در این است که هرچند در پژوهش حاضر نیز کاربرد کمپوست لجن فاضلاب باعث افزایش میزان آهن قابل دسترس خاک و همچنین کاهش میزان کادمیوم قابل دسترس خاک شده است (اثر رقابتی آهن و کادمیوم)، ولی نقش بخش معدنی و آلی کمپوست لجن فاضلاب در کاهش میزان کادمیوم قابل دسترس خاک نیز نایستی نادیده گرفته شود. برای مثال شریفی و همکاران در پژوهشی به نقش کاربرد کودهای آلی در کاهش میزان کادمیوم قابل دسترس خاک اشاره داشتند [۸]. همچنین باستا و همکاران نیز به نقش گروه‌های عاملی موجود در ترکیبات آلی در کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک اشاره داشته و افزایش pH خاک را عامل مؤثری در کاهش قابلیت دسترسی عناصر بیان کرده و دلیل آن را بارهای منفی وابسته به pH موجود در این ترکیبات دانستند [۲۸]. در پژوهشی دیگر توسط مولایی و همکاران تأثیر برخی اصلاح‌کننده‌های آلی بر ویژگی‌های رویشی و غلظت کادمیوم، روی و سرب در ذرت در خاک آلوده به عناصر سنگین بررسی شده و چنین نتیجه‌گیری شده که بخش آلی و معدنی موجود در این ترکیبات نقش مؤثری در کاهش قابلیت دسترسی سرب در خاک داشته است. و مواد هومیک حاصل از مواد آلی، ظرفیت جذب سطحی زیادی برای عناصر سنگین دارند [۹]. مواد آلی به دلیل داشتن گروه‌های عامل دارای بار منفی (کربوکسیلیک، فنلیک، هیدروکسیل)، می‌توانند فلزات سنگین را از محلول خاک جذب سطحی کرده و از دسترس گیاه خارج سازند [۲۹].

کاراسکوراو-دورین و فلوریز با بررسی اسپکتروسکوپی (طیف مادون قرمز) جذب فلزات سنگین توسط ورمی کمپوست، گزارش کردند که گروه‌های عامل کربوکسیل و فنلی، نقش مهمی در جذب سطحی فلزات سنگین توسط ترکیبات آلی دارند [۳۰]. نتایج مطالعه ماتوس و آرودا نشان

غنی‌سازی کمپوست لجن فاضلاب با سرباره آهن نیز نقش مؤثری در غلظت کادمیوم شاخساره گیاه داشت، به نحوی که غنی‌سازی ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب سرباره آهن در خاک آلوده به ۵ میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش ۱/۳ و ۶ واحدی در میزان کادمیوم شاخساره گیاه و افزایش ۱/۲ و ۳/۷ برابری در میزان آهن شاخساره گیاه شد. کاربرد کمپوست لجن فاضلاب در خاک آلوده به کادمیوم نقش مؤثری در کاهش میزان کادمیوم شاخساره گیاه داشته است، به نحوی که کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب (بدون غنی‌سازی با سرباره آهن) در خاک آلوده به ۱۵ میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش ۳۶ و ۵۱ درصدی در میزان کادمیوم شاخساره گیاه شد، این در حالی است که نتایج مشابهی نیز درباره میزان کادمیوم قابل دسترس خاک و ریشه گیاه مشاهده شد.

بحث

اثر تیمارهای مورد آزمایش بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

افزایش معنادار pH خاک در نتیجه کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک توانسته است قابلیت دسترسی فلزات سنگین از جمله کادمیوم را تحت تأثیر قرار دهد [۲۴]. نقش کاربرد کودهای آلی از جمله کمپوست لجن فاضلاب شهری در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک توسط محققان مختلف بیان شده است [۷، ۲۵]. با توجه به اینکه کودهای آلی حاوی بارهای وابسته به pH هستند، اضافه کردن این قبیل ترکیبات با افزودن بار منفی خاک می‌تواند قابلیت دسترسی فلزات سنگین از جمله کادمیوم را در خاک آلوده به این فلز کاهش دهند. افزایش معنادار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک پس از کاربرد لجن فاضلاب شهری اراک، در این تحقیق نیز تأییدکننده این مطلب است. شایان ذکر است که صرفه نظر از تأثیر کاربرد لجن فاضلاب بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، اثر برهمکنش آهن و کادمیوم نیز می‌تواند قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک را تحت تأثیر قرار دهد.

اثر رقابتی آهن و کادمیوم [۱۰] در این پژوهش نقش مؤثری را در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک آلوده به این عنصر نشان داد، به نحوی که غنی‌سازی کمپوست لجن فاضلاب شهری با ۵ درصد وزنی آهن خالص از ترکیب سرباره آهن فولادسازی توانسته است تأثیر معناداری را در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک داشته باشد. کاربرد آهن،

ذکر است که در تمامی تیمارهای یادشده غلظت کادمیوم شاخساره کمتر از غلظت کادمیوم ریشه گیاه است. کمتر بودن مقادیر کادمیوم شاخساره نسبت به ریشه، نشان دهنده این است که کادمیوم بیشتر در ریشه گیاه همیشه بهار تجمع می یابد و انتقال آن از ریشه به شاخساره محدود است. نتایج پژوهش های وانگ و همکاران نیز نشان می دهد کادمیوم موجود در محلول خاک، می تواند به دیواره های سلولی ریشه گیاه پیوند یابد. در حقیقت تجمع کادمیوم در ریشه ذرت، نوعی مکانیسم تحمل غلظت زیاد کادمیوم در ریزوسفر است [۳۳].

غنی سازی کمپوست لجن فاضلاب با سرباره آهن نیز نقش مؤثری در غلظت کادمیوم شاخساره گیاه داشت، که دلیل احتمالی آن را می توان به نقش اثر رقابتی آهن و کادمیوم در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک دانست که نکته مثبتی در مدیریت تغذیه عناصر غذایی گیاه در خاک های آلوده به شمار می آید. از سویی دیگر کاربرد کمپوست لجن فاضلاب احتمالاً توانسته است با افزایش ویژگی های جذبی خاک باعث کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و به دنبال آن کاهش جذب کادمیوم ریشه و شاخساره گیاه شود.

در ادامه می توان به نتایج کلی این مطالعه اشاره کرد:

۱. کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری نقش مؤثری را در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم و افزایش آهن قابل دسترس خاک داشته است، که می توان دلیل آن را تأثیر کاربرد کودهای آلی در افزایش گنجایش تبادل کاتیونی خاک، همچنین افزایش ویژگی های جذبی خاک و به دنبال آن کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و گیاه دانست.
۲. کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری با افزایش آهن قابل دسترسی خاک توانسته است نقش مؤثری در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و به دنبال آن کاهش قابلیت جذب آن در گیاه داشته باشد.
۳. غنی سازی کمپوست لجن فاضلاب شهری با سرباره آهن نیز نقش مؤثری در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم و افزایش غلظت آهن در خاک و گیاه داشته است که دلیل آن را می توان به اثر رقابتی این دو عنصر نسبت داد.
۴. کاربرد کمپوست لجن فاضلاب شهری با افزایش pH خاک نقش مؤثری را در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم خاک داشته است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسنده مقاله بر خود لازم می داند از حمایت های دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، برای در اختیار قرار دادن امکانات لازم در انجام این پژوهش، کمال تقدیر و تشکر را بنماید.

داد که لجن فاضلاب، تمایل زیادی به جذب سطحی فلزات سنگین دارد. همچنین محققان بیان کردند که علاوه بر کمپلکس شدن عناصر سنگین توسط گروه های عامل مواد آلی، رسوب آن ها با ترکیبات فسفره موجود در لجن فاضلاب می تواند یکی از عوامل مهم در کاهش قابلیت دسترسی آن ها توسط گیاه باشد [۲۹]. کیم و همکاران نیز بخش معدنی موجود در ترکیبات آلی را از مهم ترین عوامل کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک های آلوده به این عناصر دانستند [۳۱].

غلظت کادمیوم ریشه همیشه بهار

کاربرد کمپوست لجن فاضلاب در خاک آلوده به کادمیوم نقش مؤثری در کاهش میزان کادمیوم ریشه گیاه داشته است نتایج مشابهی نیز درباره میزان کادمیوم قابل دسترس خاک مشاهده شد. فولادی فرد و عظیمی به ارزیابی تمایل جذب فلزات نیکل و کادمیم توسط توده زیستی حاصل از کمپوست لجن فاضلاب در مقایسه با دیگر جاذب ها پرداخته و به این نتیجه رسیدند کاربرد این ترکیبات راندمان جذب فلزات سنگین را افزایش داده و افزایش pH را نیز عامل مؤثری برای بالا بردن ظرفیت جذب فلزات سنگین دانستند [۳۲]، هرچند که این مطالعه در محیط آزمایشگاهی صورت پذیرفته و شرایط خاک می تواند تأثیر بسزایی در تغییر ویژگی های جذب ترکیبات آلی داشته باشد [۳۲].

غنی سازی کمپوست لجن فاضلاب با سرباره آهن نیز نقش مؤثری در کاهش مقدار کادمیوم ریشه گیاه داشت که دلیل احتمالی آن را می توان برهمکنش آهن و کادمیوم در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم خاک و به دنبال آن کاهش کادمیوم ریشه گیاه دانست. کمپوست لجن فاضلاب، بیشترین تمایل جذب سطحی را در بین فلزات سنگین نسبت به کادمیوم دارد. کمپلکس شدن عناصر سنگین توسط گروه های عامل مواد آلی و واکنش فلزات سنگین با ترکیبات معدنی موجود در لجن فاضلاب، در کاهش جذب آن توسط گیاه مؤثر است [۹].

غلظت کادمیوم شاخساره گیاه

این پژوهش نشان می دهد در خاک تیمار شده با ۳۰ تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب شهری اراک و ۵ درصد وزنی سرباره آهن که مقدار کادمیوم شاخساره گیاه که به دلیل پایین بودن میزان آن، قابل اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی نبوده است بیشترین مقدار آهن شاخساره گیاه مشاهده شد که احتمالاً حاکی از اثر رقابتی آهن و کادمیوم است. نتایج پژوهش های ملک زاده و همکاران درباره اثر برهمکنش کادمیوم با عناصر غذایی می تواند تأکیدی بر این ادعا باشد [۱۲]. شایان

References

- [1]. Palizban A, Asghari G, Badiie A, Mardani Nafchi H, Kazemi Vardanjani A. Determination of contamination of Lead and Cadmium in Canola and safflower in around of Isfahan Still Company (ESCO) and Compare this pollution with oil extracted from them. *Journal of Shahrekord Uuniversity of Medical Sciences*. 2016;18(5):94-102. [in Persian]
- [2]. Cheraghi M, Kargar A, Lorestani B, Tabiee O. Determination of cadmium, nickel, lead and vanadium concentrations in white Indian prawn sold in Shiraz town. *Journal of Shahrekord Uuniversity of Medical Sciences*. 2014;16(4):54-61. [in Persian]
- [3]. Liu Y, Xiao T, Perkins RB, Zhu J, Zhu Z, Xiong Y, et al. Geogenic cadmium pollution and potential health risks, with emphasis on black shale. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017;176:42-49.
- [4]. Swartjes FA, Versluijs KW, Otte PF. A tiered approach for the human health risk assessment for consumption of vegetables from with cadmium-contaminated land in urban areas. *Environmental Research*. 2013;126:223-231.
- [5]. Sanches Filho PJ, Caldas JS, da Rosa NN, Pereira FOP. Toxicity test and Cd, Cr, Pb and Zn bioaccumulation in *Phalloceros caudimaculatus*. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2017;4(3):206-211.
- [6]. Kersten G, Majestic B, Quigley M. Phytoremediation of cadmium and lead-polluted watersheds. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017;137:225-232.
- [7]. Baghaie A, Khoshgoftarmanesh AH, Afyuni M, Schulin R. The role of organic and inorganic fractions of cow manure and biosolids on lead sorption. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2011;57(1):11-18.
- [8]. Sharifi M, Afyuni M, Khoshgoftarmanesh AH. Effects of sewage sludge, animal manure, compost and cadmium chloride on cadmium accumulation in corn and alfalfa. *Journal of Residuals Science and Technology*. 2010;7(4):219-225.
- [9]. Molaei S, Shirani H, Hamidpour M, Shekofteh H, Besalatpour AA. Effect of Vermicompost, Pistachio Kernel and Shrimp Shell on Some Growth Parameters and Availability of Cd, Pb and Zn in Corn in a Polluted Soil. *journal of Water and Soil Science*. 2016;19(74):113-124. [in Persian]
- [10]. Karami S, Ronaghi A. Interaction Effects of Cadmium and Wheat or Alfalfa Residues on Corn Yield and Nutrients Uptake. *Iranian Journal of Soil Research*. 2016;30(1):13-23. [in Persian]
- [11]. Rezvani M, Zaefarian F, Gholizadeh A. Lead and nutrients uptake by *aeluropus littoralis* under different levels of lead in soil. *Water and Soil Science*. 2012;22(3):73-86. [in Persian]
- [12]. Malekzadeh E, Alikhani H, Savaghebi-Firoozabadi G, Zarei M. Bioremediation of cadmium-contaminated soil through cultivation of maize inoculated with plant growth-promoting rhizobacteria. *Bioremediation Journal*. 2012;16(4):204-211.
- [13]. Tabarteh Farahani N, Baghaie AH. Effect of enriched cow manure with converter sludge on Fe bio-availability in a lead polluted soil. *Journal of Water and Soil Conservation*. 2017; 24:205-220. [in Persian]
- [14]. Malakootian M, Khazaei A. Comparison of nano zerovalent iron particles and manganese compounds efficiency in cadmium ion removal from aqueous environments. *Journal of Ilam University of Medical Sciences*. 2014; 22(2):93-103.
- [15]. Melali AR, Shariatmadari H. Application of Steel Making Slag and Converter Sludge in Farm Manure Enrichment for Corn Nutrition in Greenhouse Conditions. *Journal of Water and Soil Science*. 2008;11(42):505-513. [in Persian]
- [16]. Abbaspour A, Kalbasi M, Shariatmadari H. Effect of steel converter sludge as iron fertilizer and soil amendment in some calcareous soils. *Journal of plant nutrition*. 2004;27(2):377-394.
- [17]. Mansouri T, Golchin A, Fereidooni J. The Effects of EDTA and H₂SO₄ on Phyto-extraction of Pb from contaminated Soils by Radish. *J Water Soil* 2016;30(1):194-209. [in Persian]
- [18]. Rezakhani L, Golchin A, Samavat S. Effect of different rates of Cd on growth and chemical composition of spinach. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 2013;7(14):1136-1140.
- [19]. Motesharezadeh B, Savaghebi G, R. Study of sunflower plant response to cadmium and lead toxicity by usage of PGPR in a calcareous soil. *Journal of Water and Soil*. 2011;25:1069-1079. [in Persian]
- [20]. Lee P-K, Choi B-Y, Kang M-J. Assessment of mobility and bio-availability of heavy metals in dry depositions of Asian dust and implications for environmental risk. *Chemosphere*. 2015;119:1411-1421.
- [21]. Saadat K, Barani Motlagh M. Influence of Iranian natural zeolites, clinoptilolite on uptake of lead and cadmium in applied sewage sludge by Maize (*Zea mays*. L.). *Journal of Water and Soil Conservation*. 2013;20:123-143. [in Persian]
- [22]. Westerman RL. (Ed.). *Soil testing and plant analysis*. SSSA, No. 3, Madison, Wisconsin, USA, 1990.
- [23]. Baghaie A. Effect of municipal waste compost and zeolite on reduction of cadmium availability in a loamy soil (A case study: Arak municipal waste compost). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 2018;6(4):103-117.

- [24]. Cui H, Yi Q, Yang X, Wang X, Wu H, Zhou J. Effects of hydroxyapatite on leaching of cadmium and phosphorus and their availability under simulated acid rain. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2017;5(4):3773-3779.
- [25]. Baghaie A, Khoshgoftarmanesh A, Afyuni M. Crop effects on lead fractionation in a soil treated with lead organic and inorganic sources. *Journal of Residuals Science and Technology*. 2010;7(3):131-138.
- [26]. Sharma A, Johri B, Sharma A, Glick B. Plant growth-promoting bacterium *Pseudomonas* sp. strain GRP 3 influences iron acquisition in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilzeck). *Soil Biology and Biochemistry*. 2003;35(7):887-894.
- [27]. Tafvizi M, Motesharezadeh B. Effects of Lead on Iron, Manganese, and Zinc Concentrations in Different Varieties of Maize (*Zea mays*). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2014;45(14):1853-1365.
- [28]. Basta NT, Ryan JA, Chaney RL. Trace element chemistry in residual treated soil: Key concepts and metal bioavailability. *Journal of Environmental Quality*. 2005;34:49-63.
- [29]. Matos G, Arruda M. Vermicompost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents. *Process Biochemistry*. 2003;39(1):81-88.
- [30]. Carrasquero-Durán A, Flores I. Evaluation of lead (II) immobilization by a vermicompost using adsorption isotherms and IR spectroscopy. *Bioresource technology*. 2009;100(4):1691-1694.
- [31]. Kim SU, Owens VN, Kim YG, Lee SM, Park HC, Kim KK, et al. Effect of Phosphate Addition on Cadmium Precipitation and Adsorption in Contaminated Arable Soil with a Low Concentration of Cadmium. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2015;95(5):675-679.
- [32]. Fouladi fard R, Azimi A. Comparing the bio-sorption affinity of ni and cd by bio-solid with other bio-sorbent. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2014;16(3):35-49.
- [33]. Wang G, Su M-Y, Chen Y-H, Lin F-F, Luo D, Gao S-F. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China. *Environmental Pollution*. 2006;144(1):127-135.

Effect of Addition Iron Slag and Municipal Sewage Sludge Compost to Soil on Decreasing Cadmium Availability in Pot Marigold

Amir Hossein Baghaie *

Department of Soil-Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

Abstract

Background and Objectives Interaction effect of heavy metal and some metals such as Fe can affect soil heavy metal availability. Thus, this research was conducted to investigate the effect of Arak municipal sewage sludge compost with iron slag on decreasing cadmium uptake by pot marigold.

Materials & Methods Treatments were consist of applying enriched Arak municipal sewage sludge compost (0, 15 and 30 t ha⁻¹) with 0 and 5% pure Fe from iron slag of Mobarakeh Steel Complex in a polluted soil (0, 5, 10 and 15 mg Cd kg⁻¹ soil). After 60 days, soil physic-chemical properties and root and shoot Cd concentration of pot marigold was measured and the least significant difference (LSD) statistical analysis was used to determine the differences between the means ($p=0.05$).

Results Increasing the loading rate of Arak municipal sewage sludge compost from 0 to 15 and 30 t ha⁻¹ in a Cd polluted soil (10 mg Cd soil⁻¹) caused a decreasing in Cd availability by 15% and 35%, respectively, while the Fe availability increased by 5.6 and 8.4 times, respectively. Similar to this result, root and shoot Cd concentration was decreased by 24% and 18%, respectively.

Conclusion The result of this study showed that applying sewage sludge compost enriched with 5% Fe pure can probably affect soil physico-chemical properties that increasing soil and plant Fe availability and thereby, decreasing Cd availability.

Received: 2017/07/23

Accepted: 2017/12/11

Keywords: availability, cadmium, iron slag, municipal sewage sludge compost.